



CaO-Al₂O₃계 용융화합물의 물리·화학적 특성에 관한 연구

이근재^{1)*} · 구자술¹⁾ · 김진만²⁾ · 오상윤³⁾

¹⁾동양시멘트(주) 기술연구소 ²⁾공주대학교 건축공학과 ³⁾(주)에코마이스터

Study on Physical and Chemical Properties of CaO-Al₂O₃ System Melting Compound

Keun-Jae Lee,^{1)*} Ja-Sul Koo,¹⁾ Jin-Man Kim,²⁾ and Sang-Yoon Oh³⁾

¹⁾Tong Yang Cement R&D Center, Samcheok 245-713, Korea

²⁾Dept. of Architecture, Kongju National University, Cheonan 330-717, Korea

³⁾Ecomaister Co. Ltd., Incheon-City, Incheon 404-250, Korea

ABSTRACT This study is aimed to identify the method to use the CaO-Al₂O₃ system of rapidly cooled steel making slag (RCSS) as the environment-friendly inorganic accelerating agent by analyzing its physical and chemical properties. The fraction of rapidly cooled steel making slag is distinguished from its fibrous, and the contents of CaO and Fe₂O₃ are inversely proportional across different fractions. In addition, as the content of CaO decreased and the content of Fe₂O₃ increased, the loss ignition tended to become negative (-) and the density increased. The pore distribution by mercury intrusion porosimetry is very low as compared to the slowly cooled steel-making slag, which indicates that the internal defect and the microspore rate are remarkably lowered by the rapid cooling. To analyze the major minerals the rapidly cooled steel-making slag, XRD, f-CaO quantification and SEM-EDAX analysis have been performed. The results shows that f-CaO does not exist, and the components are mainly consisted of C₁₂A₇ and reactive β-C₂S.

Keywords : rapidly cooled steel making slag, C₁₂A₇, β-C₂S

1. 서 론

조강 생산과정에서 발생하는 부산물인 제강슬래그는 유리석회(이하 f-CaO)의 팽창성에 의한 안정성 문제로 콘크리트와 같은 건설재료로 재활용되는데 제약이 있다. 이것은 제강슬래그를 콘크리트에 사용하면 제강슬래그 내부에서 결정화된 상태로 독립적으로 존재하는 f-CaO가 상온에서 H₂O와 반응하여 Ca(OH)₂가 생성되면서 약 2배의 체적이 증가되기 때문이다.¹⁾ 이로 인해 콘크리트는 균열이 발생하고, 이는 곧 콘크리트의 내구성 저하로 귀결된다. 그렇기 때문에 대부분의 제강슬래그는 성토용 골재나 매립용 골재에만 한정되어 사용해 왔다.

그러나, 근래에 다양한 에이징 처리를 통해 제강슬래그에 함유되어 있는 f-CaO를 저감함으로써 콘크리트용 골재로 일부 재활용이 가능하게 되었다. 최근의 연구 결과에 따르면 다양한 종류의 제강슬래그 중 CaO와 Al₂O₃

를 주성분으로 하는 제강슬래그의 한 부류를 용융하여 급냉한 CaO-Al₂O₃계 용융화합물은 f-CaO, 유리 마그네시아(이하 f-MgO)의 유리화 가능성을 낮출 수 있는 것으로 보고^{2,3)}되고 있다. 또한 내부에 무기계 급결재의 주요 화합물을 함유하는 것으로 보고되고 있어 콘크리트용 결합재나 무기계 급결재로의 활용도 가능할 것으로 사료된다.

이에 이 연구에서는 용융 제강슬래그를 급냉 처리하여 제조된 CaO-Al₂O₃계 용융화합물의 물리·화학적 특성을 실험적으로 검토하였다. 이를 통해 친환경 콘크리트용 결합재 및 무기계 급결재로서 적용 가능한 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 제강슬래그의 체적 팽창

제강슬래그 중의 불안정 성분은 크게 f-CaO, f-MgO, C₂F 및 β-C₂S로 볼 수 있다. 이러한 성분들은 제강슬래그 내에서 수분과 반응하여 체적을 팽창시키는 역할을 함으로서 재료 자체가 가지는 기존의 체적 안정성을 저해하는 요인으로 작용한다.

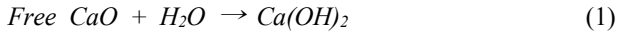
*Corresponding author E-mail : oasis0729@naver.com

Received October 29, 2012, Revised January 4, 2013,

Accepted January 7, 2013

©2013 by Korea Concrete Institute

그러나 다양한 성분 중 가장 직접적인 요인은 f-CaO에 의한 체적 팽창이다. 제강공정에서 정련 시 부원료로 사용되는 생석회는 불순물과 결합하여 충분히 슬래그화 되지 않으면 불안정한 상태로 슬래그 중에 잔존하며, 대기 중 수분과 결합하여 다음 식 (1) 같은 반응식에 의해 약 2배 이상 체적 팽창하여 재료분리를 일으킨다.



제강슬래그의 체적 팽창은 f-CaO의 존재와 분포 상태에 따라 차이가 있지만 대부분 Fig. 1의 슬래그 팽창 모델로 설명되어질 수 있다.⁴⁾

2.2 제강슬래그의 안정화

제강슬래그를 건설재료로서 재활용하기 위해서는 f-CaO에 의한 팽창문제를 해결하여 체적을 안정화할 필요가 있다. 현재 상용화된 안정화 처리방법에는 제강슬래그를 대기에 노출시켜 인위적으로 수분과 f-CaO를 반응시키는 에이징 처리방법이 가장 많이 사용되어지고 있다. 급냉 처리에 의한 안정화 방법으로는 용융 상태의 제강슬래그에 물을 분사하거나 고압의 압축공기로 용융 상태의 슬래그를 분무하여 제강슬래그의 표면을 유리질로 만드는 방법이 있다.

또한 용융 상태의 제강슬래그에 첨가재나 산소를 불어 넣어 f-CaO를 다른 안정한 화합물로 만드는 개질처리 방법에 의한 안정화 방법 등이 사용되고 있다.^{4,6)}

이 연구에서는 급냉 과정에서의 수분접촉을 최소화하기 위해 다양한 안정화 처리방법 중에서 고압의 압축공기에 의해 용융 슬래그를 분무하여 급냉하는 방법을 채용하였다. 이러한 급냉 방식은 기존 서냉 제강슬래그에서 문제가 되어온 물리적 안정성을 크게 개선할 뿐만 아니라 기존 서냉 제강슬래그에 비해 화학적 안정성도 우수한 것으로 알려지고 있다.⁷⁾

3. 실험 계획 및 방법

3.1 사용재료

3.1.1 서냉 제강슬래그

이 실험에서는 국내 전라도 지역에서 발생하는 제강슬

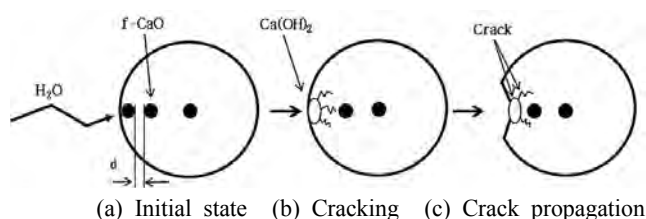


Fig. 1 Expansion model of steel making slag by f-CaO contents

래그를 용융 급냉 처리공정을 거쳐 가공한 뒤 실험에 사용하였으며, 가공을 거치기 전 서냉 제강슬래그(이하 SCSS: slowly cooled steel making slag)의 물리·화학적 특성을 Table 1, 2에 나타내었다.

SCSS의 주요 구성성분은 CaO와 Al₂O₃이며, 일부 SiO₂, Fe₂O₃, MgO, SO₃ 및 f-CaO를 포함하고 있다. 강열감량은 Ca(OH)₂ 등의 열분해에 의해 약 6.1%의 중량 감소율을 보였고 밀도는 약 2.97로 나타났다.

3.1.2 용융 급냉 제강슬래그

Fig. 2는 이 연구를 위해 SCSS를 용융 급냉 처리하여 제조한 CaO와 Al₂O₃계 용융 급냉 제강슬래그(이하 RCSS: rapidly cooled steel making slag)를 나타낸 것이다.

이 실험에서 제조한 RCSS는 슬래그를 용융시킬 때 점성 조절에 따라 성상은 일부 유리섬유상을 포함한 구형의 잔골재로 색상은 밝은 녹색부터 짙은 녹색까지 크기 및 형태가 다양한 것으로 나타났다. 또한, RCSS의 표면은 매끄러운 감촉과 광택이 있는 비교적 단단한 외관을 띠는 것으로 확인 되었다.

3.2 실험계획

3.2.1 특성 및 실험계획

RCSS는 성상별로 RCSS~RCSS4로 샘플을 구분하였으며, 물리·화학적 특성 실험계획을 Table 3에 나타내었다.

3.2.2 실험기기

이 실험의 물리·화학적 특성분석에 사용된 실험기기를 Fig. 3에 나타내었다.

Table 1 Chemical properties of raw material (SCSS)

Chemical composition (%)						
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	f-CaO
10.21	24.17	3.46	55.30	4.19	2.30	2.77

Table 2 Physical properties of raw material

Physical properties	
LOI ⁽¹⁾ (%)	Density (g/cm ³)
6.10	2.97

⁽¹⁾ LOI : loss of ignition



Fig. 2 Classification of RCSS by separation

Table 3 Experimental plan of raw material

Factors		Levels	
Chemical properties	XRF	4	· RCSS ⁽¹⁾ · RCSS1 ⁽²⁾ · RCSS2 ⁽³⁾ · RCSS3 ⁽⁴⁾
	f-CaO		
	XRD	2	· SCSS · RCSS
	EDAX	1	· RCSS4 ⁽⁵⁾
Physical properties	LOI	4	· RCSS · RCSS1 · RCSS2 · RCSS3
	Density		
	SEM	1	· RCSS4
	Porosity	2	· SCSS · RCSS4

- (1) RCSS : fine powder (fiber+ball 5.0 mm under)
- (2) RCSS1 : fiber powder
- (3) RCSS2 : ball 5.0mm under powder
- (4) RCSS3 : pulverization residue
- (5) RCSS4 : ball 2.5~5.0 mm bulk

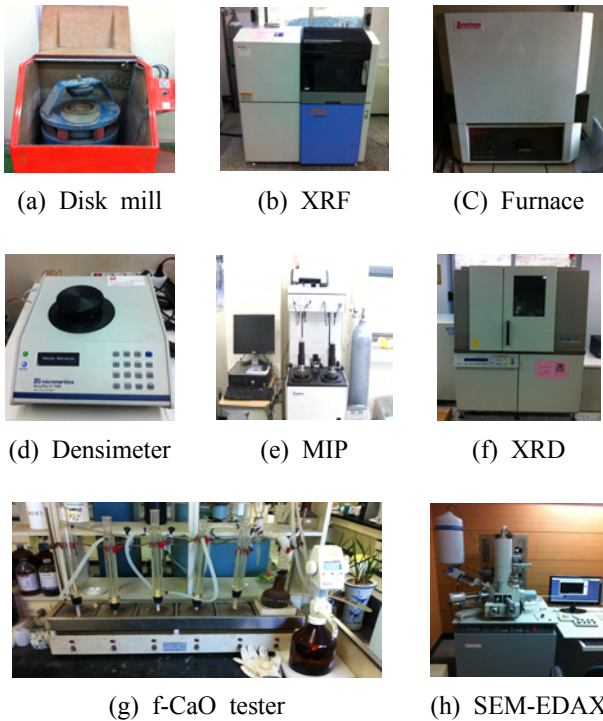


Fig. 3 Experimental equipment

3.3 실험방법

3.3.1 X-선 형광분석(XRF)

RCSS의 화학성분 측정을 위해 Fig. 3(b)의 XRF(Rigaku Primus II)를 이용하였다. 원재료가 지니고 있는 고유의 특성을 평가하기 위해 체가름을 통해 성상별로 구분하고, Fig 3(a)의 disk mill을 이용하여 재료가 미분화될 수 있는 소정의 시간 동안 분쇄하였다.

3.3.2 강열감량(LOI)

강열감량 시험은 KS L 5120 “포틀랜드 시멘트의 화학 분석 방법” 규정에 의거하여 실시하였으며, 측정에 사용

된 강열감량 시험기를 Fig. 3(c)에 나타내었다.

3.3.3 밀도

밀도측정은 데이터의 신뢰도를 향상시키기 위해 건식 기기분석 방법으로 실시하였으며, 사용된 장비는 Fig. 3(d)에 densimeter(M사 AccuPyc II 1340)를 사용하였다. 기계식 분석은 시료를 분쇄하지 않더라도 측정이 가능하기 때문에 매우 간편하며 신뢰성 있는 시험방법이다.

3.3.4 세공분포

시험편의 세공경구조 측정은 “수은 압입 시험법”에 의해 실시하였으며, KS규격에 규정된 바는 없으나 기존에 수행된 연구¹⁰⁾를 참조하여 다음과 같이 실시하였다.

진공상태에서 200 MPa 압력범위의 공극분포를 측정할 수 있는 auto pore IV 시험기를 사용하였으며, 공극 측정 범위는 직경 0.005~200 μm 범위의 공극을 대상으로 하였다. 이때 시험편은 구형의 RCSS4를 절단한 뒤 2~3개의 조각으로 파쇄하여 시료로 사용하였다. 또한 비교를 위해 SCSS에서도 동일한 실험을 진행하여 결과를 비교하였다. Fig. 3(e)는 측정에 사용된 수은 압입 시험 장치를 나타낸 것이다.

3.3.5 X-선 회절분석(XRD)

RCSS의 구성 화합물 분석을 위해 XRD를 이용하여 분석하였으며, 측정에 사용된 XRD(R사)를 Fig. 3(f)에 나타내었다. XRD 측정은 결과의 비교를 위해 SCSS를 비교군으로 결과에 활용하였다.

3.3.6 f-CaO 정량분석

XRD를 이용하여 RCSS가 함유한 f-CaO를 정량하기란 어렵기 때문에 여러 가지 f-CaO 정량방법 중 보편적인 글리세린법을 통해 f-CaO를 측정하였다. 실험에 사용된 시료는 성상별로 분리된 샘플을 미분쇄하여 제조한 것이다. 이 실험에 사용된 f-CaO 정량분석 장치는 Fig. 3(g)와 같다.

3.3.7 주사전자현미경(SEM)

RCSS를 구성하는 광물 중 $\beta\text{-C}_2\text{S}$ 의 존재를 판별하기 위해 SEM을 이용하여 배율별로 관찰하였으며, 측정에 사용된 SEM 장비(H사 S4300)를 Fig. 3(h)에 나타내었다. 시험시편의 준비는 구형의 RCSS4를 절단하여 표면을 NH_4Cl 1% 용액에 약 10초간 노출시켜 간극질과 결정질의 경계를 구분할 수 있도록 에칭(etching) 하였다.

3.3.8 원소분석기(EDAX)

SEM을 통해 관찰된 간극질과 유리된 결정질 부분을 이루고 있는 원소를 분석함으로써 RCSS를 이루고 있는 구성광물을 검증하고자 SEM의 부속장치인 EDAX를 이용하여 RCSS4의 표면 원소를 측정하였다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 X-선 형광분석(XRF)

XRF에 의한 화학성분 측정 결과는 Table 4와 같다. RCSS의 화학성분 범위는 대체로 유사한 조성범위를 보이고 있지만 급냉 시 성상 차이에 따라 Fe_2O_3 와 CaO 성분의 차이를 확인할 수 있었다.

가벼운 섬유상의 RCSS1의 경우 Fe_2O_3 함량이 낮고 CaO 함량이 높았으며, 볼 형태의 RCSS2는 RCSS1에 비해 Fe_2O_3 함량이 높게 나타났다. 혼합 분쇄된 RCSS에서는 이러한 Fe_2O_3 와 CaO의 성분이 상호 보완되어 적정한 화학조성 범위를 형성하는 것으로 나타났다.

또한 시료를 미분쇄 처리할 때 분쇄가 되지 않는 일부 잔사(RCSS3)가 관찰되어 이에 대한 화학성분 측정을 실시한 결과 Fe_2O_3 성분이 상당히 높게 측정되었다.

이러한 미분쇄 잔사는 Fe_2O_3 성분에 의해 색상이 검고 경도가 높아 분쇄효율을 저해하는 요인으로 작용할 것으로 사료되며, 향후 RCSS 미분말 제조 시 발생하는 미분쇄 잔사를 감소시킬 대책 마련이 필요할 것으로 판단된다.

4.2 강열감량(LOI)

KS L 5120 규정에 의거하여 실시한 강열감량 측정 결과를 Table 5에 나타내었다. 강열감량 측정 결과는 Fe_2O_3 성분의 함량과 관련 있으며, Fe_2O_3 성분이 증가할수록 (-) 경향이 크게 나타나고 있다.

Table 4 Chemical composition of RCSS

Chemical composition (%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
RCSS	10.30	24.50	3.40	52.40	6.70	2.24
RCSS1	9.84	25.50	3.13	52.60	6.23	2.38
RCSS2	10.50	24.30	4.08	51.70	6.76	2.16
RCSS3	10.10	21.20	22.60	38.40	5.77	1.67

Table 5 Loss of ignition

Notation	LOI(%)
RCSS	-2.72
RCSS1	-2.56
RCSS2	-3.25
RCSS3	-8.26

Table 6 Result of average density

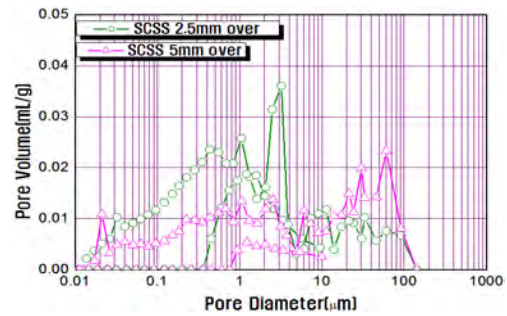
Notation	Density (g/cm ³)
RCSS	3.01
RCSS1	2.95
RCSS2	3.03
RCSS3	4.13

4.3 밀도

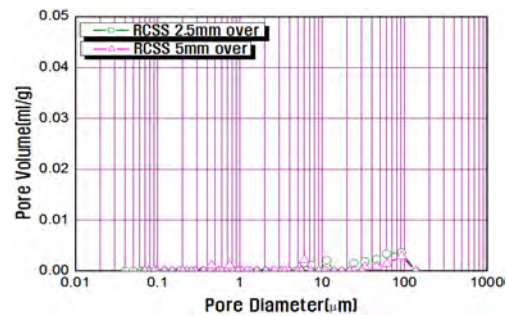
Table 6는 기기분석법에 의한 RCSS의 성상별 밀도 측정 결과를 나타낸 것이다. 밀도 측정 결과 또한 Fe_2O_3 의 성분 함량과 관계있으며, Fe_2O_3 성분이 증가할수록 밀도 결과도 증가하고 있다.

4.4 세공분포

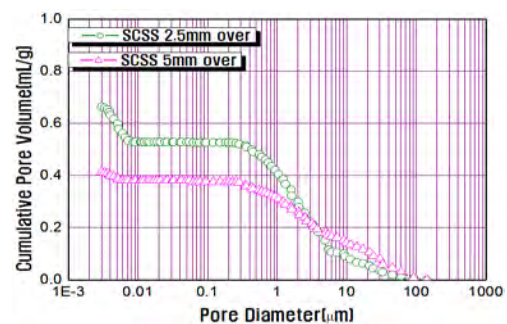
Fig. 4은 “수은 압입 시험법”에 의한 SCSS 및 RCSS4



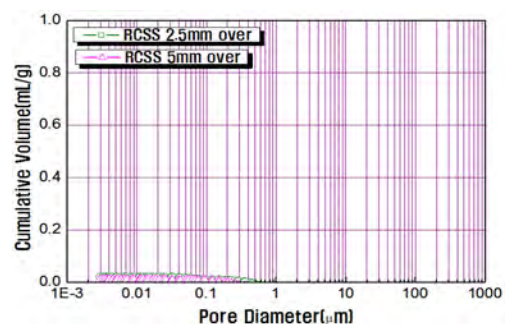
(a) Frequency of pore size distribution of SCSS



(b) Frequency of pore size distribution of RCSS



(c) Accumulation of pore size distribution of SCSS



(d) Accumulation of pore size distribution of RCSS

Fig. 4 Pore distribution of raw material

의 세공 빈도분포 및 누적분포를 나타낸 것이다. 천연 광물들과 하소 및 용융 냉각에 의해 가공된 재료는 기공틈새, 미소균열 및 기공들을 지니고 있다. 이 기공 결합은 크기와 구조면에 있어 다양하게 분포되어 있으며, 표면에서 도달 가능하거나 혹은 그렇지 않을 수 있다.^{8,9)}

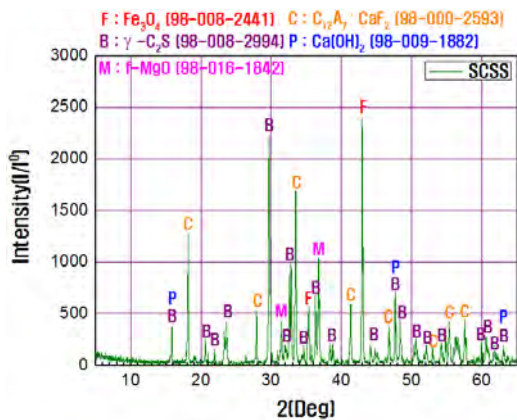
초기 낮은 압력에서의 침투는 보통 표면의 결합이나 틈새 안으로의 침투에 상응하고 내부의 미세기공 안으로의 침투는 더 높은 압력에 의해 일어난다.^{8,9)}

이 실험에서 세공분포의 빈도분포는 각 원재료의 발생 공정 및 냉각방식에 의해 각기 다른 양상으로 나타나고 있다. 급냉 공정에서 발생하는 RCSS4는 볼 사이즈별로 다소의 차이가 발생할 수 있으나 대부분 10~100 μm 기공에 집중되어 분포하고 있으며, SCSS와 비교했을 때 상당히 낮은 결과를 보여주고 있다.

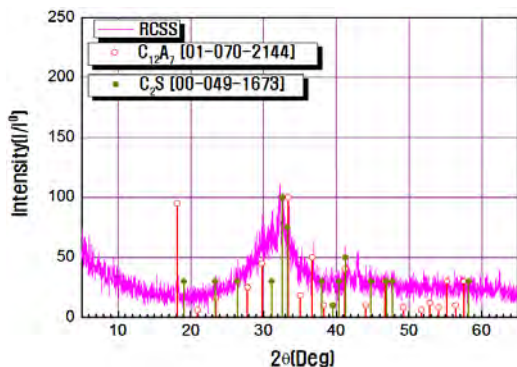
이는 누적분포 곡선에서도 확인할 수 있는 결과로 총 기공부피 역시 전체적으로 RCSS4가 낮은 결과를 보이고 있다.

4.5 X-선 회절분석(XRD)

RCSS와 SCSS의 XRD 측정 결과를 Fig. 5에 나타내었다. SCSS는 C₁₂A₇, γ-C₂S, Fe₃O₄ 등을 주요 화합물로 함유하고 있었으며, f-CaO의 수분결합에 의한 Ca(OH)₂ 및 f-MgO가 일부 검출되었다.



(a) SCSS



(b) RCSS

Fig. 5 XRD patterns of raw material

그러나 급냉 처리 후 제조된 RCSS에서는 주요 화합물로 C₁₂A₇이 확인되었으며, 기타 화합물은 대부분 Amorphous화 되어 결정도가 낮은 것으로 나타났다. 또한 일부에서는 서냉 과정에서 γ-C₂S로 전이되기 전 수화활성을 갖는 β-C₂S를 관찰할 수 있었다.

한편 XRD 측정 결과 슬래그의 안정화에 가장 유해한 영향을 미치는 f-CaO 및 f-MgO의 존재는 관측되지 않았다. 다만 급냉 처리에 의해 그 발생 빈도가 극히 낮아지고 대부분의 CaO 성분이 Al₂O₃ 또는 SiO₂와 화합물을 구성하여 RCSS 내부에 고용된 상태로 존재할 것으로 예측되었다.

4.6 f-CaO 정량분석

f-CaO의 존재는 장기적으로 재료의 안정성의 문제를 야기 시키므로 정확한 정량을 할 필요가 있다. 분석방법으로는 주로 신속 정량방법인 에틸렌글리콜을 용매로 한 산·염기 적정방법 및 글리세린법이 일반적으로 채택·사용되고 있으며, 분말도 조정이나 강제교반 등에 의해 f-CaO의 용출을 촉진시켜 분석시간을 단축시키는 방법도 제안되고 있다.

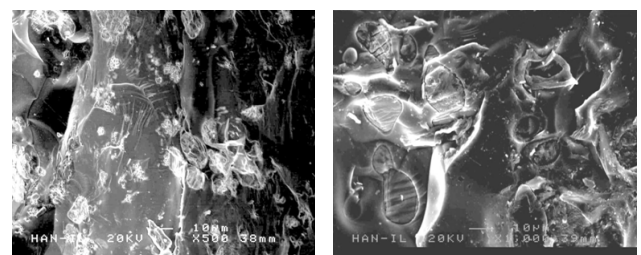
이 연구에서의 f-CaO 정량방법은 실험방법에서 전술한 바와 같이 습식분석법 중 “글리세린법”을 사용하여 f-CaO를 정량하였으며 그 결과는 Table 7과 같다. RCSS는 정상 및 입도 구분에 관계없이 f-CaO가 검출되지 않았으며, 만약 존재하더라도 매우 극소량이 존재할 것으로 판단되었다.

4.7 주사전자현미경(SEM)

Fig. 6는 RCSS4를 절단하여 SEM 표면구조를 관찰한 결과이다. SEM 결과에서 관찰할 수 있는 RCSS4의 표면

Table 7 Result of f-CaO content

Notation	f-CaO (wt%)
RCSS	Non detect
RCSS1	Non detect
RCSS2	Non detect
RCSS3	Non detect



(a) ×500

(b) ×1000

Fig. 6 SEM photographs of RCSS4 surface

은 매끈한 성상에 부분적으로 유리된 결정형태가 관찰되었다. 500배율에서는 정확한 판단이 어려워 1000배율로 확대하여 관찰하였으며, 명확히 간극질과 구분되는 결정질 형태의 광물을 관찰할 수 있었다. 이러한 결정질은 f-CaO는 아닌 것으로 보여지며, 클링커 광물 중 결정으로 나타나는 β -C₂S의 외관과 유사하였다. 따라서 명확한 규명을 위해 EDAX 분석을 실시하였다.

4.8 원소분석기(EDAX)

SEM 관찰을 통해 확인된 결과를 토대로 SEM의 부속 기재인 EDAX를 이용하여 간극질 부분과 결정질 부분을 원소 분석한 결과를 Fig. 7, 8 및 Table 8에 나타내었다.

원소분석 결과로부터 결정질 부분은 주요 성분이 CaO 및 SiO₂로 이루어진 β -C₂S 광물임을 확인할 수 있었으며, 간극질 부분은 CaO와 Al₂O₃의 화합물인 C₁₂A₇으로 판단되었다.

5. 결 론

이 연구에서는 CaO-Al₂O₃계 제강슬래그를 용융 급냉

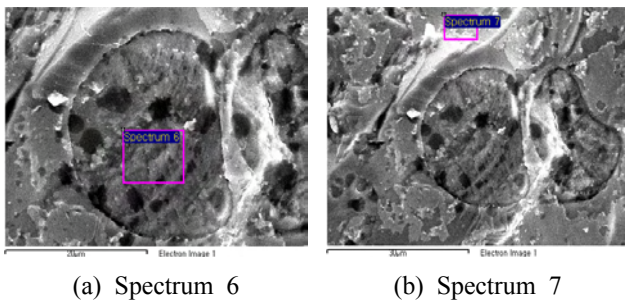


Fig. 7 Selection of surface area by energy dispersive X-ray spectroscopy

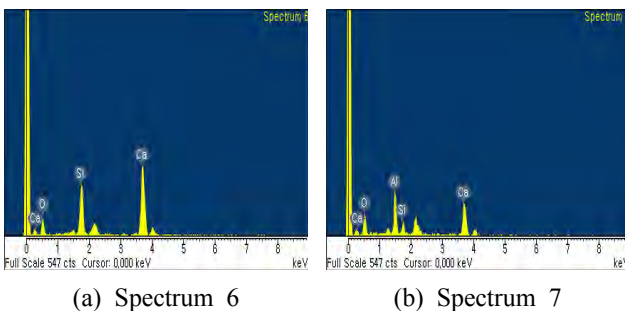


Fig. 8 Result of energy dispersive X-ray spectroscopy

Table 8 Result of energy dispersive X-ray spectroscopy

Element contents (%)					
Spectrum no.	Ca	Si	Al	O	Total
6	47.99	16.30	-	35.70	100
7	31.27	4.50	17.91	46.33	100

처리하여 제조한 RCSS의 물리·화학적 특성을 분석한 것으로 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) RCSS의 성상에 따른 화학성분은 급냉 시 생성된 성상별(RCSS~RCSS3)로 CaO와 Fe₂O₃ 함량에 차이를 보였으며, 특히 RCSS 중 Fe₂O₃ 성분은 분쇄 시 경도를 증가시켜 잔사를 발생시키고 이에 따른 분쇄효율 저하의 요인이 될 수 있으므로 관리가 필요하다고 판단된다.
- 2) RCSS의 물리적 특성으로 강열감량은 Fe₂O₃ 함량이 증가할수록 (-)경향이 크게 나타났으며, 밀도 측정 결과 또한 증가되었다.
- 3) RCSS의 세공분포는 SCSS에 비해 상당히 낮은 수치를 나타내는 것으로 확인되었다. 이러한 경향은 급냉 처리를 통해 내부의 결함 및 미세기공 발생률이 현저히 낮아졌기 때문인 것으로 판단된다.
- 4) XRD 분석 결과 RCSS는 용융 급냉 과정에서 구성 성분이 대부분 Amorphous화 되고 급결성을 갖는 C₁₂A₇ 및 수화활성을 지닌 β -C₂S 화합물을 형성한 것으로 나타났다.
- 5) 클리세린법에 의한 습식 f-CaO 정량분석 결과 f-CaO는 검출되지 않았으며, 급냉 처리를 통해 f-CaO의 안정화가 가능할 것으로 판단된다.
- 6) SEM 관찰 결과 RCSS는 간극질과 결정질 부분으로 구분되어져 있었으며, 이러한 부분을 EDAX 분석한 결과 간극질 부분은 C₁₂A₇으로 이루어져 있고, 결정질 부분은 β -C₂S가 주요 화합물인 것으로 확인되었다.
- 7) 이와 같은 결론으로부터 RCSS는 안정성이 확보된 무기계 급결재 또는 콘크리트용 결합재로 활용이 가능할 것으로 보여지며, 이와 관련된 세부적인 연구가 필요하다고 판단된다.

감사의 글

이 연구는 환경부 글로벌탑 환경기술개발사업 중 폐급속유용자원재활용기술개발사업(과제번호: 11-C21-ID)의 지원에 의해 연구되었으며, 이에 감사드립니다. 또한 이 과제는 지경부에서 지원하는 광역경제권연계협력사업(과제번호: R0000621)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Moon, H. Y. and Yoo, J. H., "Utilization of Electric Arc Furnace Slag and Converter Slag after Aging for Concrete Aggregate," *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 14, No. 4, 2002, pp. 567-607.
2. Yoo, S. Y., Lee, K. J., Lee, S. L., Koo, J. S., and Kim, J. M., "A Fundamental Study on the Properties of CaO-Al₂O₃ Melt Blend according to Grinding Condition,"

- Korea Recycled Construction Resource Institute*, Vol. 12 No. 1, 2012, pp. 26-31.
3. Kim, J. M., Kim, J. H., Lee, M. J., Choi, S. M., and Oh, S. Y., "Physical Characteristics of Rapidly Cooled Ladle Furnace Slag as Inorganic Binder," *Korea Recycled Construction Resource Institute*, Vol. 11, No. 2, 2011, pp. 11-14.
 4. Kwak, E. K., "Utilization of Rapidly Cooled Steel Slag as Fine Aggregate for Concrete," Doctoral Dissertations, Kongju University, 2011, pp. 16-29.
 5. Takayama, S., Idemitsu, T., Adia, N., Sugi, M., and Tokuhara, H., "The Utilization of Steel Making Slag Improved by the Method of Steam Aging as Upper Base Materials," *Japan Society of Civil Engineering*, Vol. 32, 1996, pp. 177-186.
 6. Tanaka, H., Yamada, S., Hasiba, M., and Ozeki, T., "Application of Steel Making Slag for Expansion Agent of Hybrid Composite Pile (鋼管複合パイプ用膨脹材としての轉爐滓の活用)," *Annual Meeting of JCA*, Vol. 35, 1981, pp. 541-544.
 7. Kim, J. M., Cho, S. H., Oh, S. Y., and Kwak, E. G., "Properties of Rapidly-Cooled Steel Slag by Atomizing Process," *Magazine of the Korea Concrete Institute*, Vol. 9, No. 6, 2007, pp. 39-45.
 8. Reed, J. S., *Principles of Ceramics Processing*, Vol. 2, John Wiley and Sons, Inc, New York, 1995, pp. 101-105.
 9. Yoo, S. Y., "Development of Superplasticizer Combined CASB and Performance Improvement of Ultra High Strength Concrete," Doctoral Dissertations, Chung-Ju University, 2011, pp. 52-62.

요 약 이 연구에서는 CaO-Al₂O₃계 급냉 제강슬래그(RCSS)의 물리·화학적 특성을 분석함으로써 친환경 무기 급결제로 활용 방안을 모색하고자 하였다. RCSS의 성상은 섬유상과 구상으로 구별되었으며, 성상별로 CaO와 Fe₂O₃ 성분 함량이 반비례 경향을 나타냈다. 또한 CaO 함량이 낮아지고 Fe₂O₃ 함량이 증가함에 따라 강열감량은 (-)경향을 보였고 밀도는 증가하였다. 수은압입법에 의한 세공분포는 서냉 제강슬래그(SCSS)에 비해 매우 낮은 수치로 급냉에 의해 내부결함 및 미세기공률이 현저히 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 급냉 제강슬래그를 구성하는 주요 광물을 분석하기 위해 XRD, f-CaO 정량, SEM-EDAX 분석을 실시한 결과에서 f-CaO의 존재는 관찰되지 않았으며, 구성성분이 주로 C₁₂A₇과 반응성 β-C₂S로 이루어져 있음을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 급냉 제강슬래그, C₁₂A₇, β-C₂S